

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-210258

(43)Date of publication of application : 21.08.1990

(51)Int.Cl.

G01N 29/18

(21)Application number : 01-029755

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 10.02.1989

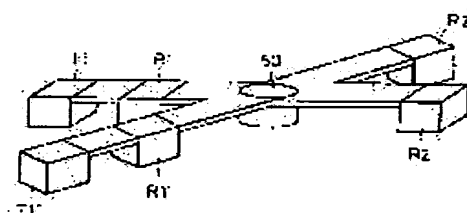
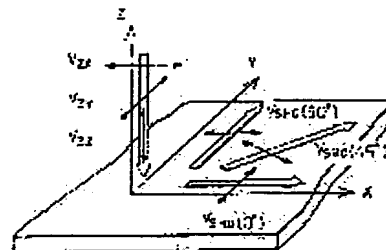
(72)Inventor : KAWASHIMA KATSUHIRO

(54) METHOD FOR MEASURING MATERIAL OF COLD ROLLED STEEL SHEET AND MEASURING INSTRUMENT OF SPEED OF ULTRASONIC WAVE PROPAGATED IN COLD ROLLED STEEL PLATE

(57)Abstract:

PURPOSE: To utilize an electromagnetic ultrasonic wave method with eliminates the need for an acoustic coupling medium by making two acoustic speed measuring instruments for SHO plate ultrasonic waves cross each other in the middle of an electromagnetic ultrasonic probe for detection and arranging an electromagnetic ultrasonic probe for a standing wave there.

CONSTITUTION: The required press moldability of the cold rolled steel sheet used for the body of an automobile or the outer package of a home electric product is measured. For the purpose, the ratios K1 and K2 of the speeds of a transversal ultrasonic wave which is propagated inside in the thickness direction while vibrating in parallel and at right angles to a rolling direction and the speed of a longitudinal ultrasonic wave which is propagated in the thickness direction and the ratio K3 of the speed of an SHO plate wave ultrasonic wave which is propagated at 45° to the rolling direction and the speed of an SHO plate wave ultrasonic wave which is propagated in parallel or at right angles to the rolling direction are measured. Then the two acoustic speed measuring instrument consisting of electromagnetic ultrasonic probes T1 and T2 for SHO plate wave generation and 1st and 2nd electromagnetic ultrasonic probes R1 and R'1, and R2 and R'2 for SHO plate wave detection are held and crossed at 45° and the electromagnetic ultrasonic probe 50 for the standing wave is arranged at the intersection to measure the ratios K1 - K3 at the same time.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑫ 公開特許公報(A) 平2-210258

⑬ Int. Cl.⁵
G 01 N 29/18識別記号 庁内整理番号
8707-2G

⑭ 公開 平成2年(1990)8月21日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全12頁)

⑮ 発明の名称 冷延薄鋼板の材質の測定法及び冷延薄鋼板中を伝播する超音波速度の測定装置

⑯ 特 願 平1-29755

⑰ 出 願 平1(1989)2月10日

⑱ 発 明 者 川 島 捷 宏 神奈川県川崎市中原区井田1618番地 新日本製鐵株式会社
第1技術研究所内

⑲ 出 願 人 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号

⑳ 代 理 人 弁理士 青 木 朗 外4名

明 細 書

1. 発明の名称

冷延薄鋼板の材質の測定法及び冷延薄鋼板
中を伝播する超音波速度の測定装置

2. 特許請求の範囲

1. 冷延薄鋼板の内部を圧延方向と平行な方向に振動しつつ厚さ方向に伝播する横波超音波の速度 V_{xx} と厚さ方向に伝播する縦波超音波の速度 V_{yy} との比の値 K_1 、ならびに該冷延薄鋼板の内部を圧延方向と直角をなす方向に振動しつつ厚さ方向に伝播する横波超音波の速度 V_{yy} と厚さ方向に伝播する該縦波超音波の速度 V_{xx} との比の値 K_2 、ならびに該冷延薄鋼板の内部を圧延方向と 45° をなす方向に伝播する SH0 板波超音波の速度 V_{s45} (45°) と圧延方向と平行な方向あるいは直角をなす方向に伝播する SH0 板波超音波の速度 V_{s0} (0°) あるいは V_{s90} (90°) との比の値 K_3 を測定し該 K_1 、 K_2 及び K_3 の値ならびに鉄単結晶の既知の3個の弾性係数の値 C^{011} 、 C^{012} 、 C^{044} から CODF 係数 W_{000} 、 W_{200} 、 W_{400} を算出

し、冷延薄鋼板の極点図又はヤング率又はラングフォード値を得ることを特徴とする冷延薄鋼板の材質の測定法。

2. K_1 、 K_2 及び K_3 の値を電磁超音波をもちいて測定する請求項1記載の冷延薄鋼板の材質の測定法。

3. SH0 板波発生用電磁超音波探触子と第1の SH0 板波検出用電磁超音波探触子と第2の SH0 板波検出用電磁超音波探触子を直線上に配置したものを一組とする SH0 板波超音波の音速測定装置2組を前記第1、2の SH0 板波検出用電磁超音波探触子の中間にて 45° の角度を保持して交差させ、前記交差点に1個の定在波用電磁超音波探触子を配置したことを特徴とする冷延薄鋼板中を伝播する超音波速度の測定装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

この発明は冷延薄鋼板の材料特性を迅速且つ非破壊的に測定するための方法に関する。

〔従来の技術〕

冷延薄鋼板は自動車の車体や家庭電気製品の外装に用いられるため高いプレス成形性が要求される。冷延薄鋼板は多結晶体でありそのプレス成形性はいわゆる集合組織によってほとんど決定づけられる。

従来はプレス成形性はX線極点図法あるいはランクフォード値(r 値)によって推定されていた。しかしX線極点図法では冷延薄鋼板より試験片を切り取ってこれにX線を照射して測定しなければならないため時間がかかり、また試験片を切り取らねばならないため破壊的測定法であるといえる。ランクフォード値を測定する方法では引張試験片のサイズの変化の精密な測定が必要のため時間がかかり、また試験片を冷延薄鋼板より切り取って測定しなければならないためこれも破壊的測定法であるといえる。

このような引張試験によるランクフォード値の測定では多大の時間と労力を要するため簡便法も提案された(C.A.Stickels and Mould, "The use of

Young's modulus for predicting the plastic strain ratio of low carbon steel sheets", Metallurgical Transaction Vol.1, pp1303-1312 (1970))。この簡便法では固有振動法により測定したヤング率とランクフォード値との間の経験的な相関関係を利用するため簡便ではあるが、この方法でも試験片を冷延薄鋼板より切り取って測定しなければならないためこれも破壊的測定法である。

そこで試験片を切り取る必要がなく冷延薄鋼板の自然のサイズのままで非破壊的に測定する方法として超音波の音速を測定する方法が提案された。特開昭57-66355("鋼板の集合組織ないしはその集合組織に依存する材料特性をオンラインにて判定する方法")ではSモードならびにAモードの板波超音波の音速を測定しその測定値を適当に演算してランクフォード値を求める方法が提案されている。

しかしながらこの方法では音速の絶対値を利用するため薄鋼板の厚さを別に測定しなければならない

ず、その厚さ測定誤差に基づく誤差を排除することはできない。またこの方法では板波超音波を発受信するにあたって水、油、その他の液体等の音響結合媒質を必要としており、このためどうしても薄鋼板を汚す等の問題を避けることはできない。

音速の絶対値を利用することによる誤差を排除するために、音速の比を利用する方法も提案されている(平尾他"超音波による冷延鋼板集合組織の非破壊評価"、日本機械学会論文講演抜粋、308A、論文No.87-1211A、昭和63年3月30日第65期通常総合講演会において講演。ならびにM.Hirao, et al., "Ultrasonic monitoring of texture in cold-rolled steel sheets", Journal of Acoustical Society of America, Vol.84(2), pp667-672(1988))。そこでは薄鋼板の厚さ方向に伝播する縦波と2種類の横波、ならびに薄鋼板の圧延面内を伝播し偏波方向も圧延面内にあるSH0モード板波等の音速を測定し、これらの音速の比より引張試験をすることなくランクフォード値を推定したり、集合組織を表わす方位分布関数の

係数 W_{400} 、 W_{420} 、 W_{440} (これらの係数の意味については後に説明する)を算出しこれにより材料特性を推定する方法を提案している。

しかしながらこの方法でも前述の方法と同様に音響結合媒質を必要としており薄鋼板を汚す等の問題を避けることはできない。またSH0モード板波の音速を測定するにあたって、探触子を薄鋼板の圧延方向からそれに直角の方向まで5°ずつ回転させつつ測定しなければならない、このため測定数が多くなって時間がかかるという問題を有している。またこうして得られた測定値をフーリエ解析しなければならない等の手順が必要という問題も有している。

〔発明が解決すべき課題〕

本発明は上記問題点に鑑み音響結合媒質を必要としない電磁超音波法を利用する完全に非破壊的で且つ薄鋼板を汚すことのない冷延薄鋼板の極点図、ヤング率、ランクフォード値の測定方法及び装置を提供することを目的とする。

(課題を解決するための手段)

本発明は冷延薄鋼板の内部を圧延方向と平行な方向に振動しつつ厚さ方向に伝播する横波超音波の速度と厚さ方向に伝播する縦波超音波の速度との比の値 K_2 、ならびに該冷延薄鋼板の内部を圧延方向と直角をなす方向に振動しつつ厚さ方向に伝播する横波超音波の速度と厚さ方向に伝播する該縦波超音波の速度との比の値 K_1 、ならびに該冷延薄鋼板の内部を圧延方向と 45° をなす方向に伝播するSHO板波超音波の速度と圧延方向と平行な方向あるいは直角をなす方向に伝播するSHO板波超音波の速度との比の値 K_3 、ならびに鉄単結晶の既知の3個の弾性係数の値 C_{11}^0 , C_{12}^0 , C_{44}^0 から冷延薄鋼板の極点図、ヤング率、ランクフォード値を得るための冷延薄鋼板の材質の測定方法であり、更にまたSHO板波発生用電磁超音波探触子と、第1のSHO板波検出用電磁超音波探触子と、第2のSHO板波検出用電磁超音波探触子を直線上に配置したものを一組とするSHO板波超音波の音速測定装置2組を前記第1、

2のSHO板波検出用電磁超音波探触子の中間にて 45° の角度を保持して交差させ、前記交差点に1個の定在波用電磁超音波探触子を配置したことを特徴とする冷延薄鋼板中を伝播する超音波速度の測定装置である。

(作用)

まず理論的背景を述べる。冷延薄鋼板は多くの微細な鉄単結晶(立方晶)から成る多結晶体であるが巨視的に見た場合は異方性を有する連続体とみてさしつかえない。連続体とみなされた薄鋼板は近似的には3枚の互いに直交する面(1.圧延面(xy面)、2.圧延面と垂直で圧延方向と平行な面(xz面)、3.圧延面と垂直で圧延方向に垂直な面(yz面))に関して面对称な物理的性質を有すると考えられている。ただしxは圧延方向であり薄鋼板の長手方向に相当する。yはこれに直角な方向であり薄鋼板の巾方向に相当する。zはxとyの両方に垂直な方向であり薄鋼板の面に垂直な方向に相当する。このような場合は薄鋼板の弾

性係数行列は9個の異なる弾性係数を有しそれは次のように表わせることは既に知られている。

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここでは C_{ij} は薄鋼板の9個の異なる弾性係数を表わす。

一方多結晶体を構成する多くの単結晶のうちで薄鋼板にたいしてある一定の方向(θ, ϕ, ψ)を有するものの割合は結晶方位分布関数 $W(\xi, \phi, \psi)$ (以後CODFと称する)で表わせることは知られている(R.J.Roe, "Description of crystallite orientation in polycrystalline materials", Journal of Applied Physics, Vol.36, pp2024-2031 (1965))。但し $\xi = \cos \theta$ である。 $W(\xi, \phi, \psi)$ は次のように一般化されたルジャンドル関数

Z_{lmn} による級数展開で表わせることも知られている。

$$W(\xi, \phi, \psi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-l}^l W_{lmn} Z_{lmn} \exp(-im\phi) \exp(-in\psi) \quad (2)$$

ここで θ, ϕ, ψ は単結晶と薄鋼板との関係を表わすために用いられるオイラー角である。また $\xi = \cos \theta$ である。また $W(\xi, \phi, \psi)$ は薄鋼板にたいしてある一定の方向(θ, ϕ, ψ)を有する単結晶の量の割合を表わす関数であり結晶方位分布関数と呼ばれる。 W_{lmn} はCODF係数である。このうち W_{400} , W_{420} , W_{440} が多結晶体の弾性的性質と関連していることが知られている。

さて冷延薄鋼板の場合は既述のように9個の異なる弾性係数 C_{ij} を有するがこれらは6個の独立な変数、すなわち鉄単結晶の3個の弾性係数 C_{11}^0 , C_{12}^0 , C_{44}^0 と3個のCODF係数 W_{400} , W_{420} , W_{440} によって次式のように表わされることが知られている(C.M.Sayers, "Ultrasonic velocities in anisotropic polycrystalline aggregates",

$$\begin{aligned}
C_{11} &= C^0_{11} - 2C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{6}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} - \frac{2}{3} (10)^{1/2} W_{420} + \frac{1}{3} (70)^{1/2} W_{440}] \right\} \\
C_{22} &= C^0_{11} - 2C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{6}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} + \frac{2}{3} (10)^{1/2} W_{420} + \frac{1}{3} (70)^{1/2} W_{440}] \right\} \\
C_{33} &= C^0_{11} - 2C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^z W_{400} \right\} \\
C_{44} &= C^0_{44} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} + (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\} \\
C_{55} &= C^0_{44} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} - (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\} \\
C_{66} &= C^0_{44} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} + \frac{4}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} - (70)^{1/2} W_{440}] \right\} \\
C_{23} &= C^0_{12} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} + (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\} \\
C_{13} &= C^0_{12} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} - \frac{16}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} - (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\} \\
C_{12} &= C^0_{12} + C^0 \left\{ \frac{1}{5} + \frac{4}{35} \sqrt{2} \pi^z [W_{400} - (70)^{1/2} W_{440}] \right\}
\end{aligned}
\tag{3}$$

ただし、 $C^0 = C^0_{11} - C^0_{12} - 2C^0_{44}$ である。

また W_{400} , W_{420} , W_{440} の値を次式に代入することにより近似的な極点図を作れることも知られている。

$$4\pi q(\zeta, \eta) = 1 + 4\pi P \{ (3/8\sqrt{2})(35\zeta^4 - 30\zeta^2 + 3)W_{400} + (9/2)(5)^{1/2}(1 - \zeta^2) [1 - (7/6)(1 - \zeta^2)] W_{420} \cos 2\eta + (3/8)(35)^{1/2}(1 - \zeta^2)^2 W_{440} \cos 4\eta \} \quad (4)$$

ただし $P = -4\pi/3$ (111) 極点図

$P = 2\pi$ (100) 極点図

$P = -\pi/2$ (110) 極点図

η , ξ は極点図を描くための球面と薄鋼板との関係を示す角度である。

本発明において使用する各種のモードの超音波を第1図に示す。太い矢印は超音波の伝播方向を示し、細い矢印は超音波の振動方向を示す。これらの矢印は薄鋼板の外側に描かれているがこれは便宜上であり実際の超音波は全て薄鋼板内を伝播するものであることは言うまでもない。 V_{zz} は板厚方向に伝播する縦波の音速、 V_{xx} は圧延方向に偏向し板厚方向に伝播する横波の音速、 V_{yy} は圧延方向と直角の方向に偏向し板厚方向に伝播する

横波の音速を表わす。 $V_{sho}(0^\circ)$ は圧延方向と直角の方向に偏向し圧延面内を圧延方向に伝播するSHOモード板波の音速、 $V_{sho}(90^\circ)$ は圧延方向に偏向し圧延面内を圧延方向と直角の方法に伝播するSHOモード板波の音速、 $V_{sho}(45^\circ)$ は圧延面内を圧延方向と 45° の方向に伝播するSHOモード板波の音速を表わす。それぞれ次式で表わされることは既に知られている。

$$\rho V_{zz}^2 = C_{33} \quad (5)$$

$$\rho V_{yy}^2 = C_{44} \quad (6)$$

$$\rho V_{xx}^2 = C_{55} \quad (7)$$

$$\rho V_{sho}^2(0^\circ) = C_{44} \quad (8)$$

$$\rho V_{sho}^2(90^\circ) = C_{44} \quad (9)$$

$$\rho V_{sho}^2(45^\circ) = C_{44} \left(1 + \frac{\beta}{2} \right)^2 \quad (10)$$

$$\text{ここで } \beta = \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{C_{11} + C_{22}}{2} - C_{12} - \frac{(C_{12} - C_{22})^2}{2C_{33}} \right] - C_{44} \right\} / C_{44}$$

ρ : 薄鋼板の密度

これらのうち $V_{sho}(45^\circ)$ は最近発見されたもの

である(R.B.Thompson et al., "Relative anisotropy of plane waves and guided modes in thin orthorhombic plates", *Ultrasonics* 25, pp133-137 (1987))。 $V_{sho}(0^\circ) = V_{sho}(90^\circ)$ であるので実際にはどちらか一方のみを使用すればよい。今後は説明の便宜上 $V_{sho}(0^\circ)$ の方を使用することにする。

上述の(1) - (10)式はこれまでに知られているものである。発明者はこれらの式を理論的に検討し、その結果、これまで知られていなかった新たな方程式を見だし、それを利用した新方法を発明したものである。次にこれを説明する。

まず V_{yy} と V_{xx} の音速比を K_1 とすると(3)。

(5), (6)式より次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 K_1^2 &= \frac{\rho V_{xy}^2}{\rho V_{zz}^2} = \frac{C_{44}}{C_{33}} \\
 &= \frac{C_{44} + C^0 \left\{ (1/5) - (16/35) \sqrt{2} \pi^2 [W_{400} + (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\}}{C_{011} - 2C^0 \left\{ (1/5) - (16/35) \sqrt{2} \pi^2 W_{400} \right\}} \quad (11)
 \end{aligned}$$

同様にして V_{xx} と V_{zz} の音速比を K_2 とし、 V_{xH0} (45°) と V_{zH0} (0°) との音速比を K_3 とする
 と (3), (5), (7), (8), (10) 式より次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 K_2^2 &= \frac{\rho V_{xy}^2}{\rho V_{zz}^2} = \frac{C_{33}}{C_{33}} \\
 &= \frac{C_{44} + C^0 \left\{ (1/5) - (16/35) \sqrt{2} \pi^2 [W_{400} - (5/2)^{1/2} W_{420}] \right\}}{C_{011} - 2C^0 \left\{ (1/5) - (16/35) \sqrt{2} \pi^2 W_{400} \right\}} \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$K_3^2 = \frac{\rho V_{xH0}^2(45^\circ)}{\rho V_{zH0}^2(0^\circ)} = \frac{C_{44}(1 + \beta/2)^2}{C_{44}} = \left(1 + \frac{\beta}{2}\right)^2 \quad (13)$$

(11) - (13) 式中の鉄単結晶の 3 個の弾性係数 C_{011} , C_{012} , C_{44} に既知の値を代入すると式 (11), (12) は W_{400} と W_{420} に関する 2 元連立 1 次方程式となるためこれを解くことができる。このようにして得られた W_{400} と W_{420} とを式 (13) に代入すると非常に複雑な式が出来るが結局この式も W_{440} に関する 1 次方程式となり解くことができることを発明者は見いだしたわけである。
 結局それぞれの解は次ぎのようになる。

$$W_{400} = F_1 (C_{011}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2)$$

$$= \frac{35}{16(2)^{1/2} \pi^2} \left[\frac{1}{5} + \frac{C_{044}}{C^0} - \left(\frac{C_{011}}{2C^0} + \frac{C_{044}}{C^0} \right) \left(\frac{K_1^2 + K_2^2}{K_1^2 + K_2^2 + 1} \right) \right], \quad (14)$$

$$W_{420} = F_2 (C_{011}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2)$$

$$= - \frac{35}{16(5)^{1/2} \pi^2} \left(\frac{C_{011}}{2C^0} + \frac{C_{044}}{C^0} \right) \left(\frac{K_1^2 - K_2^2}{K_1^2 + K_2^2 + 1} \right), \quad (15)$$

$$W_{440} = F_3 (C_{011}/C^0, C_{012}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2, K_3^2)$$

$$\begin{aligned} &= - \frac{(35)^{1/2}}{16 \pi^2 K_3} \left\{ \frac{C_{011}}{2C^0} - \frac{C_{012}}{2C^0} - \frac{3}{10} - \left(\frac{C_{044}}{C^0} + \frac{1}{5} \right) (2K_3 - 1) \right. \\ &\quad \left. - \frac{8(2)^{1/2} \pi^2 (K_3 - 1)}{35} F_1 (C_{011}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2) \right. \\ &\quad \left. - \frac{256 \pi^4 [F_2 (C_{011}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2)]^2}{245 [C_{011}/C^0 - 2/5 + (32/35)(2)^{1/2} \pi^2 F_1 (C_{011}/C^0, C_{044}/C^0, K_1^2, K_2^2)]} \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

(14), (15)式は既に知られていたが(C.M.Sayers and D.R.Allen, "The influence of stress on the principal polarization directions of ultrasonic shear waves in textured steel plates", Journal of Physics D 17, pp1399-1413(1984)), (16)式は発明者によって初めて見いだされたものである。(14), (15), (16)式によれば既に知られている鉄単結晶の3個の弾性係数の値($C_{011}=237\text{GPa}$, $C_{012}=141\text{GPa}$, $C_{044}=116\text{GPa}$)を利用すれば音速比 K_1 , K_2 , K_3 を測定するのみで W_{400} , W_{420} , W_{440} を全て計算により得ることができる。 W_{400} , W_{420} , W_{440} が得られればこれを(3)式に代入することにより薄鋼板の9個の弾性係数 C_{ij} を得ることが出来る。

また圧延方向と角度 α をなす方向の圧延面内における薄鋼板のヤング率 $E(\alpha)$ は次式で表わせることはよく知られている。

$$1/E(\alpha) = S_{22} \sin^4 \alpha + S_{11} \cos^4 \alpha + (S_{44} + 2S_{12}) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \quad (17)$$

ただし $S_{11} = (C_{22}C_{33} - C_{23}C_{23})/S$

$$S_{22} = (C_{11}C_{33} - C_{13}C_{13})/S$$

$$S_{12} = (C_{12}C_{22} - C_{12}C_{22})/S$$

$$S_{44} = 1/C_{44}$$

$$S = 1 / (C_{11}C_{22}C_{33} + 2C_{12}C_{23}C_{13} - C_{11}C_{23}^2 - C_{22}C_{13}^2 - C_{33}C_{12}^2)$$

(17)式に上記の方法で得られた薄鋼板の9個の弾性係数 C_{ij} を代入するとヤング率 $E(\alpha)$ を計算により得ることが出来るわけである。

次に音速比 K_1 , K_2 , K_3 を測定する方法について説明する。まず K_1 と K_2 を測定する方法について説明する。

厚さが1mm前後あるいはそれ以下の薄鋼板の中を厚さ方向に伝播する超音波の音速 V_{ss} , V_{xx} , V_{yy} を測定するのに電磁超音波を利用した定在波法("厚み共振法"とも呼ばれる)が適していることは既に知られている(S.A.Filimonov, B.A. Budenkov, and N.A.Glukhov, "Ultrasonic contactless resonance testing method", Soviet journal of Nondestructive Testing, No.1, pp102-104(1971)).

第2図にこの定在波法のための電磁超音波探触

子の一例を示す。第2図(a)は正面から見た断面図である。この電磁超音波探触子は回転対称構造を有する。第2図(b)は上から見たものでありこの電磁超音波探触子によって生ずる渦電流、電磁力等を示している。第2図(a)に示す偏平な円形コイル14に高周波電流を流すと薄鋼板16中には渦電流1φが誘起する。一方永久磁石12によって薄鋼板16中に磁界18が生じている。磁界18は薄鋼板16の表面に垂直な成分 B_z と、薄鋼板16の表面に平行且つ放射状に分布する成分 B_r を有している。1φと B_z の相互作用により薄鋼板16の表面に平行且つ放射状に分布する電磁力 F_r が生じる。また1φと B_r の相互作用により薄鋼板16の表面に垂直な電磁力 F_z が生じる。電磁力 F_r は圧延方向に平行な成分 F_x と圧延方向に垂直な成分 F_y に分けることが出来る。 F_z により板厚方向に伝播する縦波 V_{zz} が発生し、 F_x により圧延方向に偏向し板厚方向に伝播する横波 V_{zx} が発生し、 F_y により圧延方向と直角の方向に偏向し板厚方向に伝播する横波

V_{zy} が発生する。

こうして発生した超音波は逆の物理的過程で検出される。さてコイルに流す高周波電流の周波数が次式を満足する場合に薄鋼板の中にその厚さ方向に定在波が生じることは知られている。

$$\begin{aligned} f_{zzn} &= \frac{m}{2d} V_{zz} \\ f_{zy n} &= \frac{n}{2d} V_{zy} \\ f_{zx n} &= \frac{n}{2d} V_{zx} \end{aligned} \quad (18)$$

コイルに流す高周波電流の周波数を掃引しながら上記のような過程に従って超音波を発生させ且つ検出し、検出された超音波が極大となるときの周波数を記録することにより(18)式で表わされる周波数を得ることができる。

音速 K_1 、 K_2 は(18)式を利用することにより次ぎのように求められる。

$$K_1 = \frac{V_{zy}}{V_{zz}} = \frac{(2d/n) f_{zy n}}{(2d/m) f_{zz n}} = \frac{m f_{zy n}}{n f_{zz n}} \quad (19)$$

$$K_2 = \frac{V_{zx}}{V_{zz}} = \frac{(2d/n) f_{zx n}}{(2d/m) f_{zz n}} = \frac{m f_{zx n}}{n f_{zz n}} \quad (20)$$

(19)。(20)式によれば音速比は周波数の比に変換されており、薄鋼板の厚さ d は消去され測定する必要のないことがわかる。広い薄鋼板の厚さ d を測定するにはX線等による測定が必要であるため、これが不要であるのは実用上非常に好ましいことである。

次に音速比 K_2 を測定する方法について説明する。SH0モードの板波を発生、検出するための電磁超音波探触子の一例を第3図に示すがこれについてもよく知られている。すなわち偏平角形コイル24に高周波数パルス電流を流すと薄鋼板中に渦電流が誘起する。一方周期的に並び永久磁石20により薄鋼板中に周期的に分布する磁界が生じている。渦電流とこの磁界の相互作用により周期的に分布する力が生じこれによりSH0板波が発生する。SH0板波の検出は発生の逆の過程によりおこなわれる。これを用いてSH0板波の音速を測定する装置についても種々考えられるが、

第4図にその一例を示すような装置が考えられる。すなわち同一構造の探触子を3個使用する。発生用探触子は1個でこれをT1、検出用探触子は2個でこれらをR1、R2とする。T1、R1、R2はこの順番に並べられて剛体ケースに収められ、それらの間隔は一定に保たれている。T1により発生したSH0板波は伝播していきR1により検出され次に時間 t 後にR2により検出される。R1とR2の間隔をDとするとSH0板波の音速は次ぎのように表わせる。

SH0板波の進行方向が圧延方向に一致している場合

$$V_{SH0}(0^\circ) = D/t_0 \quad (21)$$

SH0板波の進行方向が圧延方向と 45° をなす場合

$$V_{SH0}(45^\circ) = D/t_{45} \quad (22)$$

但し、 t_0 、 t_{45} はSH0板波の進行方向が圧延方向とそれぞれ 0° 、 45° をなす場合に距離Dを伝播するに要する時間である。

音速比 K_2 は(21)。(22)式を利用することにより

もとめられる。

$$K_3 = V_{3,90}(45^\circ) / V_{3,90}(0^\circ) = t_0 / t_{45} \quad (23)$$

すなわち音速比 K_3 は伝播時間の逆比に変換されており、また伝播距離 D は消去され測定する必要のないことがわかる。これが不要であるのは実用上非常に好ましいことである。

さてこのようにして音速比 K_1 、 K_2 、 K_3 が測定できることがわかったが、さらにこれらを同時に測定できれば、測定の迅速化が計られ実用上好ましいことである。このための装置の一例を第5図に示す。すなわち第4図に示すものと同等のものを2組($T1$ 、 $R1$ 、 $R2$ ならびに $T1'$ 、 $R1'$ 、 $R2'$)準備しこれらが互いに 45° をなすように固定する。さらにその交点に第2図(a)に示すものと同一定在波用探触子50を固定する。このように第5図に示す探触子セットにより音速比 K_1 、 K_2 、 K_3 が同時に測定できるため実用上非常に好ましいことである。

このようにして得られた音速比 K_1 、 K_2 、 K_3 と既知の鉄単結晶の弾性係数 C_{11}^0 、 C_{12}^0 、 C_{44}^0 に

より薄鋼板の9個の弾性係数 C_{11} 、ならびにヤング率を得ることができ、近似的な極点図も描けることは既に説明したとおりである。

〔実施例〕

一枚の薄鋼板について実際に測定したところ $K_1 = 0.5292$ 、 $K_2 = 0.5409$ 、 $K_3 = 0.9643$ が得られた。これらの測定値と既知の鉄単結晶の弾性係数の値 $C_{11}^0 = 237\text{GPa}$ 、 $C_{12}^0 = 141\text{GPa}$ 、 $C_{44}^0 = 116\text{GPa}$ を(14)、(15)、(16)式に代入すると、 $W_{100} = -3.94 \times 10^{-3}$ 、 $W_{200} = -1.36 \times 10^{-3}$ 、 $W_{400} = -1.83 \times 10^{-3}$ が得られた。これらの値を(4)式に代入することにより得られた超音波極点図を第6図(a)に示す。また比較のためにX線回折法により得られた極点図を第6図(b)に示す。両者は細部まで一致していないが、大体において良く一致していることがわかる。すなわち本発明の超音波法により非破壊的に、且つ迅速に極点図を描け、これにより集合組織を推定できることがわかる。

第7図には本発明の超音波法により測定された異なる7枚の薄鋼板のヤング率の圧延面内における平均値($\bar{E} = [E(0^\circ) + 2E(45^\circ) + E(90^\circ)] / 4$)と引張試験によって測定されたランクフォード値(r 値)の圧延面内における平均値($\bar{r} = [r(0^\circ) + 2r(45^\circ) + r(90^\circ)] / 4$)との関係を示している。 \bar{r} の値が大であるほど高いプレス成形性を有することがわかっているため本発明の超音波法によりプレス成形性を非破壊的に測定できることがわかる。

また第8図には本発明の超音波法により測定されたヤング率の圧延面内における異方性

($\Delta E = [E(0^\circ) - 2E(45^\circ) + E(90^\circ)] / 4$)と引張試験によって測定されたランクフォード値(r 値)の圧延面内における異方性($\Delta r = [r(0^\circ) - 2r(45^\circ) + r(90^\circ)] / 4$)との関係を示している。 Δr の値が大であるほどプレス成形の際に生ずるいわゆる“耳”が発生しやすいことがわかっているため本発明の超音波法により“耳”の発生を非破壊的に予測できること

がわかる。第7、8図によれば本発明の超音波法によりランクフォード値の圧延面内における平均値ならびにランクフォード値の圧延面内における異方性を非破壊的に、且つ迅速に推定できることがわかる。

〔発明の効果〕

以上述べたように本発明では音響結合媒質を必要としない電磁超音波法を利用するため完全に非破壊的な測定であり、且つ薄鋼板を汚すことがなく、また音速の絶対値ではなく音速比を利用するため測定誤差が小さい。さらに単に3個の線型代数方程式を解くだけで W_{100} 、 W_{200} 、 W_{400} が算出でき、これらから極点図を描いたり、引張試験をすることなくランクフォード値を推定できるわけである。このように材料特性を非破壊的に、且つ迅速に測定することができるため薄鋼板の品質管理、品質保証が有利に達成できるものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明において使用する各種のモード

の超音波の伝播方向と振動方向を示す図、

第2図は薄鋼板の厚さ方向に伝播する縦波超音波と2種の横波超音波を発生・検出するための定在波用電磁超音波探触子を示す図、

第3図はSHOモードの板波超音波を発生・検出するための電磁超音波探触子を示す図、

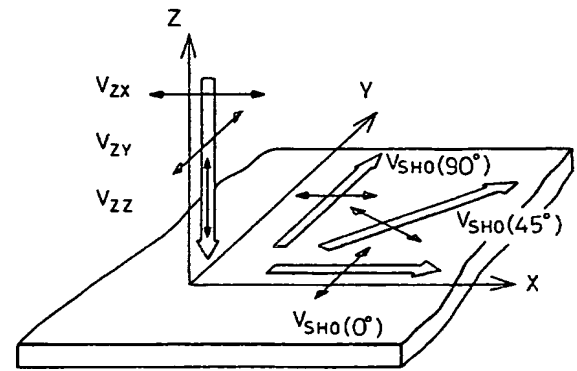
第4図は第3図に示す電磁超音波探触子を3個使用してSHOモードの板波超音波の音速を測定する方法を示す図、

第5図は音速比 K_1 、 K_2 、 K_3 を同時に測定する方法を示す図、

第6図は本発明の超音波法により得られた極点図とX線極点図との比較を示す図、

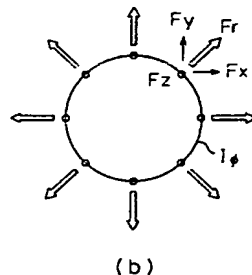
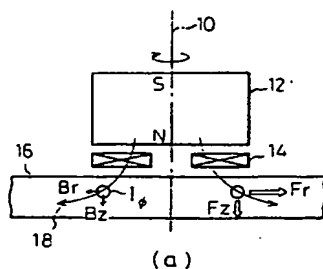
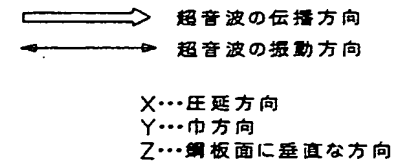
第7図は本発明の超音波法により得られたヤング率の圧延面内における平均値(\bar{E})と r 値の圧延面内における平均値(\bar{r})との関係を示す図、

第8図は本発明の超音波法により得られたヤング率の圧延面内における異方性(ΔE)と r 値の圧延面内における異方性(Δr)との関係を示す図である。



本発明において使用する各種のモードの超音波

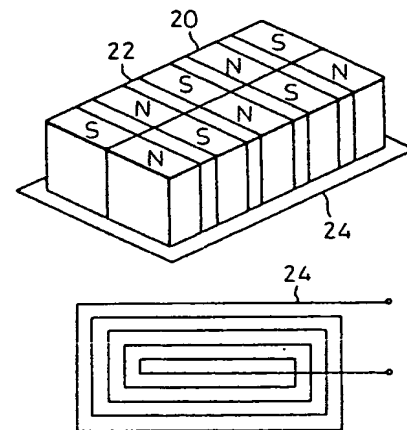
第1図



定在波用電磁超音波探触子の一例

第2図

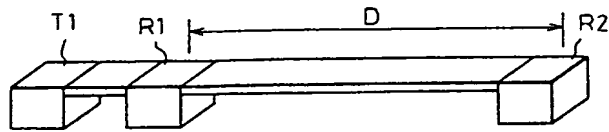
- 10...回転対称軸
- 12...永久磁石
- 14...偏平円形コイル
- 16...薄鋼板
- 18...磁界



SHO板波検出用電磁超音波探触子の一例

第3図

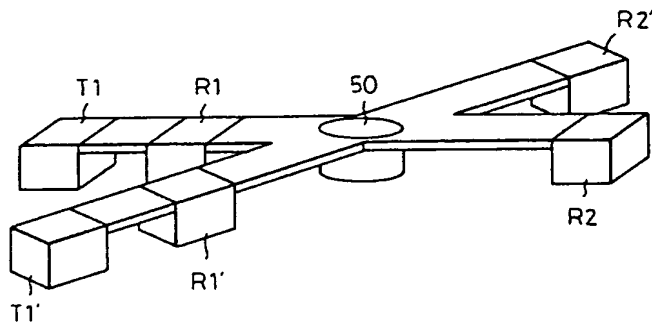
- 20...永久磁石
- 22...スペーサ
- 24...偏平角形コイル



SH0板波超音波の音速測定装置の一例

第4図

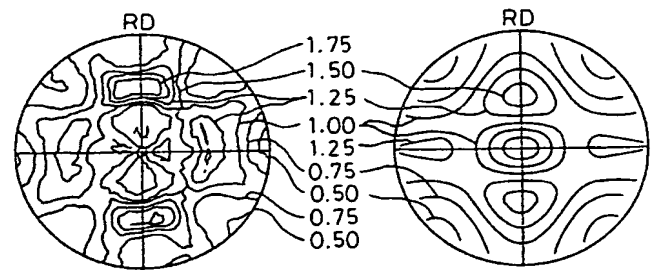
T1…発生用探触子
R2, R3…検出用探触子



音速比 K_1, K_2, K_3 を同時に測定するための装置の一例

第5図

50…定在波用探触子

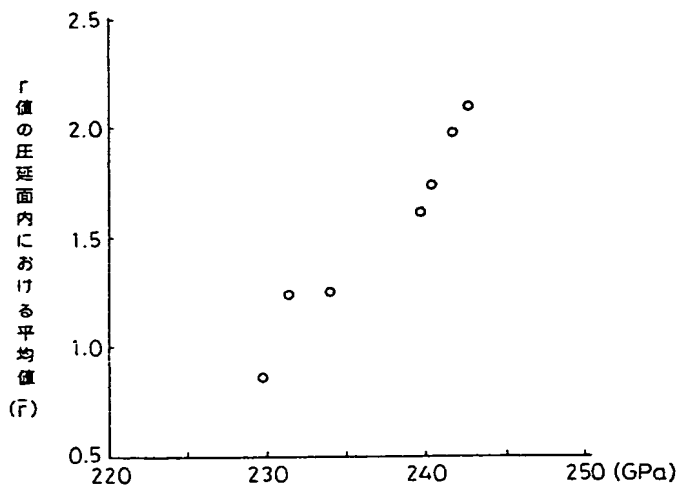


(b)

(a)

本発明の超音波法により得られた
極点図(a)とX線極点図(b)の比較

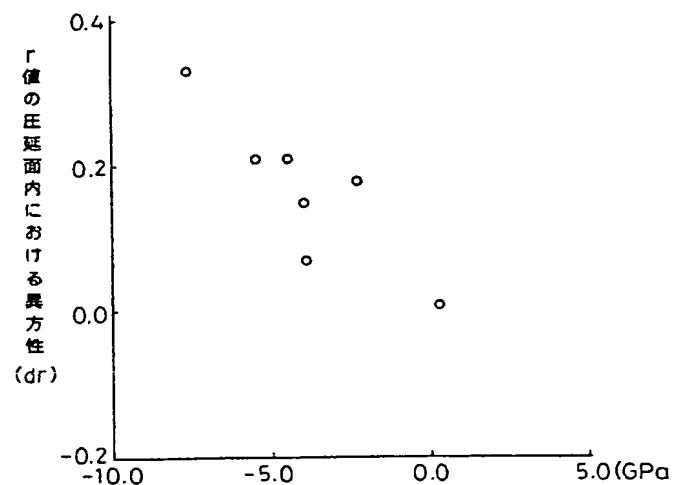
第6図



超音波法により得られたヤング率の
圧延面内における平均値(\bar{E})

本発明の超音波法により得られたヤング率の圧延面内における
平均値(\bar{E})と r 値の圧延面内における平均値(\bar{r})との関係

第7図



超音波法により得られたヤング率の
圧延面内における異方性(dE)

本発明の超音波法により得られたヤング率の圧延面内における
異方性(dE)と r 値の圧延面内における異方性(dr)との関係

第8図

手続補正書(自発)

平成1年8月15日

特許庁長官 吉田文毅 殿

1. 事件の表示

平成1年特許願第29755号

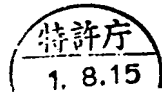
2. 発明の名称

冷延薄鋼板の材質の測定法及び冷延薄鋼板中を伝播する超音波速度の測定装置

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人


名称 (665)新日本製鐵株式会社



4. 代理人

住所 〒105 東京都港区虎ノ門一丁目8番10号

静光虎ノ門ビル 電話 504-0721

氏名 弁理士(6579)青木 朗 
(外4名)

5. 補正の対象

(1) 明細書の「発明の詳細な説明」の欄

(2) 明細書の「図面の簡単な説明」の欄

6. 補正の内容

(1) 明細書中、

① 第10頁第4行

「 $\sum_{i=1}^{\infty}$ 」を「 $\sum_{i=1}^{\infty}$ 」と補正する。

② 第24頁第7行～第8行

「によたまず」を「によりまず」と補正する。

③ 第26頁第1行

「 C_{11} 」を「 C_{11} 」と補正する。

④ 第26頁第10行

「 -3.94×10^{-3} 」を「 -3.94×10^{-3} 」と補正する。

⑤ 第26頁第10行

「 -1.36×10^{-3} 」を「 -1.36×10^{-3} 」と補正する。

⑥ 第26頁第11行

「 -1.83×10^{-3} 」を「 -1.83×10^{-3} 」と補正

する。

⑦ 第27頁第6行

「 \overline{T} 」を「 \overline{T} 」と補正する。

⑧ 第27頁第7行

「 \overline{T} の」を「 \overline{T} の」と補正する。

(2) 明細書中、

① 第29頁第16行

「 (\overline{T}) 」を「 (\overline{T}) 」と補正する。